

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-256453

(43)Date of publication of application : 11.09.2002

(51)Int.Cl.

C23C 26/00
C23C 24/08

(21)Application number : 2001-059696

(71)Applicant : NISHIHARA AKIRA

(22)Date of filing : 05.03.2001

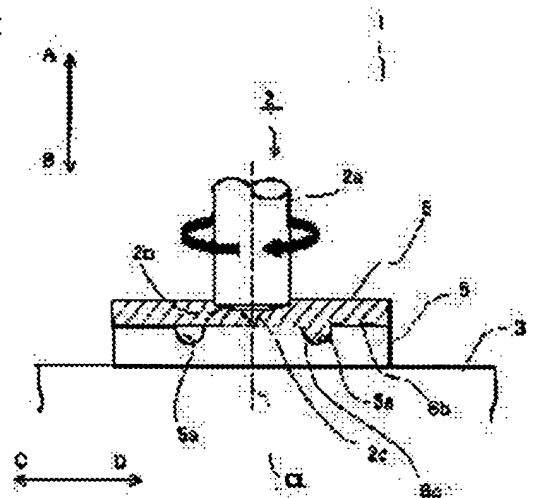
(72)Inventor : NISHIHARA AKIRA

(54) FRICTION STIR FORMING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a friction stir forming method which can form a material in a short time without melting it and without needing a skill.

SOLUTION: The friction stir forming method includes abutting a stirring means 2 for generating friction heat on a first object 6 and penetrating it into the first object, in a state that the first object and a second object 5 are contacted with each other, to generate friction heat between the first object and the stirring means, and causing a plastic flow of a non-melting state in the material composing the first object by stirring in a heated state; and transcribing a unevenness formed on the second object onto it by taking advantage of the plastic flow state. Thereby, the method makes it possible to form a metal material easily in a short time without melting it and without needing a skill, though conventionally only a method of melting the first object and pouring it into the second object, or a method of shaving by machining has been able to be employed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] A frictional heat generating stirring means is made to contact said 1st body, where the 1st body and 2nd body are contacted mutually. Produce relative displacement between this frictional heat generating stirring means and the 1st body, and said frictional heat generating stirring means is made to advance into said 1st body. Generate frictional heat between this 1st body and a frictional heat generating stirring means, and plastic flow is produced in the state of unmelting by stirring the ingredient which constitutes this 1st body in the state of heating. The friction stirring molding approach which constituted it from the condition as imprinted the concave convex voice formed in said 2nd body by this plastic flow.

[Claim 2] A frictional heat generating stirring means is made to contact said 1st body, where the 1st body and 2nd body are contacted mutually. Produce relative displacement between this frictional heat generating stirring means and the 1st body, and said frictional heat generating stirring means is made to advance into said 1st body. Generate frictional heat between this 1st body and a frictional heat generating stirring means, and plastic flow is produced in the state of unmelting by stirring the ingredient which constitutes this 1st body in the state of heating. The friction stirring molding approach which constituted said 1st and 2nd bodies using this plastic flow as joined mechanically.

[Claim 3] It is the friction stirring molding approach according to claim 1 or 2 which said frictional heat generating stirring means is the rotation tool formed free [the rotation drive in which the work-piece contact surface was formed at the tip], and produces frictional heat between said work-piece contact surface and the 1st body.

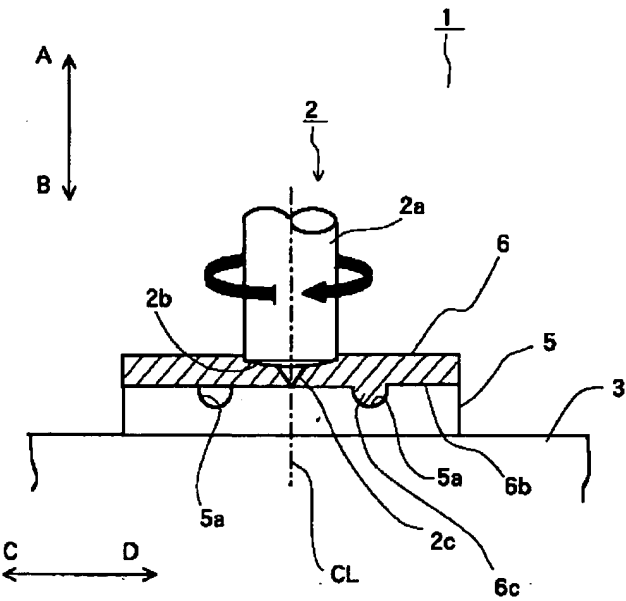
[Claim 4] The concave convex voice of said 2nd body is the friction stirring molding approach according to claim 1 which is the die formed in this 2nd body.

[Claim 5] Said the 1st body and said 2nd body are the friction stirring molding approach according to claim 2 that the ingredient which constitutes these bodies is different.

[Claim 6] It is the friction stirring molding approach according to claim 5 which is an ingredient with the ingredient of said 2nd body the ingredient of said 1st body is an ingredient made from aluminum, and made [with an ingredient] from iron.

[Claim 7] The friction stirring molding approach according to claim 2 which irregularity is formed in said 2nd body and the ingredient which constitutes said 1st body in this irregularity was made to flow into it, and constituted said 1st and 2nd bodies as joined mechanically.

[Translation done.]



[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the friction stirring molding approach which can be fabricated without carrying out melting of the metallic material using the frictional heat which adjusts two bodies each other and is produced.

[0002]

[Description of the Prior Art] In order to have imprinted the shape of toothing of arbitration to the metal conventionally, the metal mold corresponding to the shape of toothing concerned was formed and cast, or the approach only had beginning to delete by machining.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In casting, by carrying out melting of about [needing a large-scale facility from it being necessary to carry out melting of the metallic material] and the metal, there having been a fault from which the mechanical property changes, and machining having un-arranged [which the processing takes much time amount and skill].

[0004] This invention aims at offering the friction stirring molding approach which can be cast without [without it carries out melting of the ingredient in view of the above-mentioned situation, and] requiring skill for a short time.

[Means for Solving the Problem] Invention of claim 1 is in the condition of having contacted the 1st body (6) and 2nd body (5) mutually. Make a frictional heat generating stirring means (2) contact said 1st body, and relative displacement is produced between this frictional heat generating stirring means and the 1st body. Make said frictional heat generating stirring means advance into said 1st body, and frictional heat is generated between this 1st body and a frictional heat generating stirring means. By stirring the ingredient which constitutes this 1st body in the state of heating, plastic flow is produced in the state of unmelting, and as the concave convex voice formed in said 2nd body is imprinted by this plastic flow, it consists of the condition.

[0005] Invention of claim 2 is in the condition of having contacted the 1st body (6) and 2nd body (7) mutually. Make a frictional heat generating stirring means (2) contact said 1st body, and relative displacement is produced between this frictional heat generating stirring means and the 1st body. Make said frictional heat generating stirring means advance into said 1st body, and frictional heat is generated between this 1st body and a frictional heat generating stirring means. By stirring the ingredient which constitutes this 1st body in the state of heating, plastic flow is produced in the state of unmelting, and using this plastic flow, as said 1st and 2nd bodies are joined mechanically, it is constituted.

[0006] Invention of claim 3 is the rotation tool (2) by which said frictional heat generating stirring means was established in the friction stirring molding approach according to claim 1 or 2 free [the rotation drive in which the work-piece contact surface was formed at the tip], and frictional heat is constituted so that it may be generated between said work-piece contact surface and the 1st body.

[0007] It is constituted so that invention of claim 4 may be the die (5a) with which the concave convex voice of said 2nd body was formed in this 2nd body.

[0008] In the friction stirring molding approach according to claim 2, invention of claim 5 is constituted so that the ingredient with which said the 1st body and said 2nd body constitute these bodies may be different.

[0009] The ingredient of said 1st body is an ingredient with invention of claim 6 made [with an ingredient] from aluminum in the friction stirring molding approach according to claim 5, and the ingredient of said 2nd body consists of ingredients made from iron.

[0010] In the friction stirring molding approach according to claim 2, irregularity (7a) is formed in said 2nd body, and invention of claim 7 makes the ingredient which constitutes said 1st body (6) in this irregularity flow into it, and as it joins said 1st and 2nd bodies mechanically, it is constituted.

[Effect of the Invention] According to claim 1, by carrying out heating stirring of the ingredient which constitutes the

1st-body (6) with a frictional heat generating stirring means in the state of unmelting, plastic flow is produced and the concave convex voice formed in the 1st body (6) at the 2nd body (5) can be imprinted using this plastic flow. Thereby, what was not able to be made to have been able to dissolve the 1st body, and was not able to slush on the 2nd body, or was able to use only the approach of the shaving broth by machining becomes possible [casting without / without it carries out melting of the metallic material, and / requiring skill for a short time] simply conventionally.

[0011] According to invention of claim 2, by carrying out heating stirring of the ingredient which constitutes the 1st body (6) with a frictional heat generating stirring means in the state of unmelting, plastic flow is produced and it becomes possible to join the 1st body (6) and 2nd body (5) mechanically. Thereby, junction between dissimilar materials, such as a metal, ceramics, and aluminum, iron of which junction was made impossible, can be performed easily conventionally.

[0012] According to invention of claim 3, by using a rotation tool (2), a junction activity can be done using machine tools which have generally spread, such as a milling machine and a machining center, and it is convenient.

[0013] According to invention of claim 4, the configuration of a die (5a) can be imprinted to a precision, and it is convenient to components manufacture of a micro machine etc.

[0014] According to invention of claim 5, mechanical junction between dissimilar materials can be performed easily.

[0015] According to invention of claim 6, mechanical junction of aluminum and iron can be performed easily.

[0016] According to invention of claim 7, mechanical junction in the form where irregularity (7a) was used can be performed easily.

[0017] In addition, the number in a parenthesis etc. does not show the corresponding element in a drawing, and limited constraint of this description is not carried out [expedient / therefore] at the publication on a drawing.

[0018]

[Embodiment of the Invention] Drawing and drawing 2 which, as for drawing 1 , show an example of the shaping equipment with which this invention is applied Drawing in which drawing showing change of the die temperature under molding and drawing 3 show the relation between the depth of V groove metal mold and a filling factor, and drawing 4 the front face of metal mold -- the front face of a test specimen before and after using the friction stirring molding approach for drawing and drawing 5 which show description -- drawing and drawing 6 which show description Drawing and drawing 8 which show the shape of front planarity of another test specimen before and after using the friction stirring molding approach for drawing and drawing 7 which show the shape of front planarity of metal mold The mimetic diagram in which drawing showing the dimension of a plate with a slot and drawing 9 show a hauling shear test and a friction test mode, and drawing 10 In a hauling shear test and a friction test, drawing showing the effect drawing and drawing 11 which show the relation of maximum load and the distance from the center of a slot pull with the number of slots, and affect the maximum load of a shear test, and drawing 12 are the perspective views showing an example of the clad plate formed with the application of this invention.

[0019] As shown in drawing 1 , the machine tool 1 as friction stirring shaping equipment which performs the friction stirring molding approach has the table 3, and is being fixed on the table 3 through fixed means, such as a bolt nut which metal mold 5 does not illustrate. Die 5a is formed in the top face of metal mold 5, and when the ingredient of the work piece later mentioned along with the mold 5a concerned carries out plastic flow of this die 5a, the configuration where the work-piece side was met at the mold 5a concerned is imprinted.

[0020] into the part in which die 5a on metal mold 5 was formed, similarly, the work piece 6 which should be cast is [nut / bolt] proper so that it may not be displaced relatively to metal mold 5 -- means ***** immobilization is carried out and the tool 2 in which a rotation drive is free is further formed in the method of drawing Nakagami of a work piece 6. the arrow head A which is drawing Nakagami down by the delivery device in which a tool 2 is not illustrated, and the direction of B -- and -- this -- it is prepared in A and the direction of B free [a relative-displacement drive] to the table 3 in a right-angled horizontal arrow head C and the right-angled horizontal direction of D, and the tool 2 has cylinder-like body 2a.

[0021] Work-piece contact surface 2b formed in convex a little caudad is formed in the direction of a right angle to the direction of tool axial center CL, and it is formed in the convex center section of work-piece contact surface 2b at the drawing Nakashita section of body 2a in the form which is a form whose core of the probe 2c made correspond with the tool axial center CL, and projects in the method of drawing Nakashita.

[0022] Since a machine tool 1 etc. has the above configurations, it is explained in full detail below about friction stirring molding performed using the machine tool 1.

[0023] While rotating a tool 2 focusing on an axial center CL at a predetermined rotational frequency on the occasion of processing, it is made to move in the drawing 1 lower part of arrow-head B, i.e., the direction, and probe 2c at the tip of a tool is made to contact the top face of a work piece 6 with predetermined contact pressure. A work piece 6 is heated with frictional heat, when a tool 2 contacts in the state of rotation, and it is softened, and probe 2c advances into a work piece 6. Furthermore, by pressing a tool 2 in the direction of arrow-head B, a tool 2 contacts with work-piece

contact surface 2b and contact pressure predetermined in the top face of a work piece 6, and the top face of a work piece 6 is further heated according to the frictional force produced between work-piece contact surface 2bs in a rotation condition. The work piece 6 in the condition of having been heated is stirred by work-piece contact surface 2b of a tool 2 and probe 2c in a rotation condition, and presents locally the shape of plastic flow kinesis in an unmelting condition. As compared with the plastic flow in the usual plastic working, that flow resistance of this plastic flow condition is very low, and it will be in the condition of having been similar to the so-called super-elasticity condition.

[0024] The ingredient which constitutes the work piece 6 of tool 2 lower part with which flow resistance fell extremely by hanging delivery in the direction of arrow-head C with a predetermined feed rate, rotating a tool 2 from this condition is stirred by the tool 2, it flows in die 5a formed in metal mold 5, and projection 6c corresponding to die 5a is fabricated by inferior-surface-of-tongue 6b of a work piece 6. Under the present circumstances, since the fluidity is high extremely, even if the ingredient which constitutes a work piece 6 does not make a high pressure act like the usual forging from a tool 2 side, it can flow in die 5a by the force of few directions of arrow-head B, and can imprint the die 5a concerned very elaborately.

[0025] Thus, rotating a tool 2, by hanging delivery in the direction of arrow-head C with a predetermined feed rate, heating stirring of the work piece 6 is carried out continuously, the ingredient which constitutes a work piece 6 in each die 5a of metal mold 5 flows, and shaping actuation is performed continuously.

[0026] The ingredient which carries out a work-piece 6 WO configuration is made to produce a flow similar to a super-elasticity flow in the state of unmelting of an ingredient based on heating by the frictional heat between this tool 2 and work piece 6, and generation becomes applicable to micro processing made difficult until now by making it flow under the low working pressure force in die 5a. An artificer proposes this as "Friction Stir Forming (Following FSF and abbreviation)."

[0027] That is, the FSF equipment made as an experiment using the machine tool 1 investigated experimentally the effect of the ***** quality of the material, a metal mold configuration, processing conditions, etc. to the detailed moldability of various aluminium alloys.

[0028] The FSF equipment made as an experiment is shown in drawing 1. The body of equipment consists of jigs which fix metal mold 5, a test specimen (work piece 6), and these using the ** type milling machine. SUS304 was used for the charge of metal mold material, and a mirror plane, a machining side, a semi-sphere slot, V mold groove, Vickers, and a micro Vickers indentation were processed on the front face. Moreover, in order to guess the temperature at the time of FSF, K thermocouple with a diameter of 0.2mm was embedded from the metal mold front face in the location under 1.0mm. The tool of TYPE C (it is a temper to a shoulder side about +5 degrees, 20mm of diameters of a shoulder, and the quality of the material SKD61) shown in "the Nakura good, Inoue Yuji and the Nishihara public, Taira 12***** (2000), and 457 - 458 pages" was used for the tool configuration. The test specimen (work piece 6) used 60x260x3mm A6061 P-T6, A2017 P-T3, A2024 P-T3, and an A7075 P-T651 aluminium-alloy plate.

In order to guess the temperature at the time of the <experimental result and consideration> <temperature change at the time of FSF> FSF, with a slitting depth of 0.5mm directly under the V groove, it vacated for two points and the opposite side 8mm every 4mm including the tool center section, and the temperature of one point and a total of four points was measured with the thermocouple. The temperature change of the point in 60mm of front is shown in drawing 2 from a shaping start point. A test specimen (work piece 6) is A6061P, and was taken as rotational frequency 1320rpm and feed-rate 50 mm/min. The maximum temperature of about 700 K is accepted directly under a probe. Moreover, it turns out that it is falling to about 600 K toward a shoulder section periphery.

[0029] The result of having performed forging by FSF using <evaluation of restoration nature to V ditch type> 45 degree V ditch type is shown in drawing 3. The rotational frequency was set to 1320rpm and, in the case of A6061P, the high tensile aluminum alloy was set to 530rpm. Moreover, the feed rate was made into 50 mm/min. The measuring method of a filling factor used the same approach as Saotome and others (Koji Saotome Yasunori, ** sincerity 1 and Sakaguchi, plasticity and processing, 41-468 (2000), 49-53.). A filling factor is in the inclination which will decrease if the depth of a mold becomes large, A6061P are the highest, and it turns out that it is falling in order of A2017P, A2024P, and A7075P.

[0030] Evaluation of an imprint property was tried from the <evaluation of imprint property> preceding clause using A6061P with sufficient flowability. First, the field machined by rotational frequency 170rpm and feed-rate 100 mm/min in the charge of metal mold material using the face cutter was used as metal mold. The cross-section curve is shown in drawing 4.

[0031] FSF was performed in rotational frequency 1320rpm and feed-rate 50 mm/min using this metal mold. The cross-section curve directly under a probe after an experiment is shown for the cross-section curve before the experiment of a test specimen (work piece 6) in drawing 5 (a) at drawing 5 (b). When the cross-section curve of the test specimen after a mold and an experiment is compared, it turns out that the metal mold configuration is imprinted good and the value with near Ra and Rz is shown.

[0032] . which shows the cross-section curve of the metal mold 5 which carried out mirror polishing to drawing 6 -- FSF was similarly performed using this metal mold. A test specimen (work piece 6) shows the cross-section curve to drawing 7 (a) using what was machined with the horizontal milling cutter. The cross-section curve directly under a probe after an experiment is shown in drawing 7 (b). Although it does not imprint, as for a mirror plane, it turns out that surface roughness is small considerably. Although it is under research to a current pan, it is possible by improving a tool configuration, processing conditions, etc. that the possibility of a mirror plane imprint fully exists.

[0033] As a result of trying the forging which used the Vickers indentation as the mold using <attempt of closed mold forging> A6061P, the diagonal line of an indentation was ***** (ing) and it was checked that forging as a mold had been performed mostly. Furthermore, it is thought that the micro forging by small metal mold is also possible.

[0034] Next, in this invention, it tried to join an aluminium alloy to a carbon steel plate mechanically by FSF, and the bonding strength of a junction joint was examined experimentally.

[0035] As shown in <experiment approach> drawing 8 and drawing 12 , the 1st work piece 6 pressed fit in the 2nd work piece 7 which prepared slot 7a is piled up, and mechanical junction is performed by acting in the direction of drawing 12 arrow-head C as FSF. a tool -- (-- the Nakura good, Inoue Yuji and the Nishihara public, Taira 12 ***** , and TYPE C of (2000), 457-458.) were used. Work pieces 6 and 7 were made into the A6061 P-T6 material (work piece 6) of 3mm thickness, and the S45C material (work piece 7) of 8mm angle, and machined slot 7a as shown in drawing 8 and 12 to S45C. In this experiment, d in drawing 8 set to 1.2mm, h set to 0.2-0.4mm, and the number of slots was set to 1-5.

[0036] Moreover, the tool rotational frequency made 1335rpm and a junction (delivery) rate 50 mm/min. Furthermore, the **** shear test and the friction test were performed by the approach in order to evaluate the reinforcement of the joined joint, as shown in drawing 9 . In the case of the **** shear test, it examined by attaching A6061P plate (work piece 6) and the steel plate with the same thickness in the S45C (work piece 7) side.

< . An experimental result and consideration >>FSF As an example of the mechanical junction by example >FSF of the clad plate to twist, an A6061 P/S45C clad plate is shown in drawing 12 . An aluminium alloy (work piece 6) flows in by plastic flow, and is mechanically joined to slot 7a by the side of S45C (work piece 7). From this result, the good joint engine performance by the anchor effect is expected. The rate of a clad in this case is about 11%.

[0037] The result of a friction test in case the number of <on the strength evaluation of joint> slots is 1, and a **** shear test is shown in drawing 10 . Although maximum load was falling when h was 0.2mm, the thing of an aluminium alloy escaped from a fang furrow in part was checked in this case. Although it is in the inclination for maximum load to become large when h becomes large, the area by the side of the aluminium alloy which receives shearing as becoming still larger becomes small, and it is predicted that reinforcement falls.

[0038] So, in this experiment, it presupposed that it is fixed $h = 0.3\text{mm}$, and the number of slots was changed, it joined, and the joint was manufactured. The result of the **** shear test in this case is shown in drawing 11 . It turns out that it is in the inclination which maximum load also increases as the number of slots increases. When there were many slots, it was admitted that it may fracture from a base material.

[0039] In addition, as a frictional heat generating stirring means to produce the work piece 6 which is the 1st body, and to stir frictional heat, although the rotation tool 2 was used for the above-mentioned example As a frictional heat generating stirring means, frictional heat is generated not only between a rotation tool but between the 1st body. As long as the component of the work piece to which flow resistance fell with the heat can be stirred, various kinds of modes, such as a thing using one direction movement of pressing a reciprocating motion and the periphery section of body of revolution against a work piece, can be considered.

[0040] Moreover, if there is concave convex voice which is imprinted on the 1st body and which was formed in the 2nd body by the concave convex voice formed in the 2nd body front face to imprint not only on die 5a but on the 1st body as shown in drawing 1 , what kind of thing may be used, for example, a mirror plane etc. is included.

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-256453

(P2002-256453A)

(43) 公開日 平成14年9月11日 (2002.9.11)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード [*] (参考)
C 2 3 C 26/00		C 2 3 C 26/00	M 4 K 0 4 4
24/08		24/08	B

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2001-59696 (P2001-59696)

(22) 出願日 平成13年3月5日 (2001.3.5)

特許法第30条第1項適用申請有り 2000年11月27日~28日 社団法人日本機械学会開催の「日本機械学会第8回機械材料・材料加工技術講演会」において文書をもって発表

(71) 出願人 501089461

西原 公

千葉県鎌ヶ谷市東初富1-15-7

(72) 発明者 西原 公

千葉県鎌ヶ谷市東初富1-15-7

(74) 代理人 100083138

弁理士 相田 伸二 (外1名)

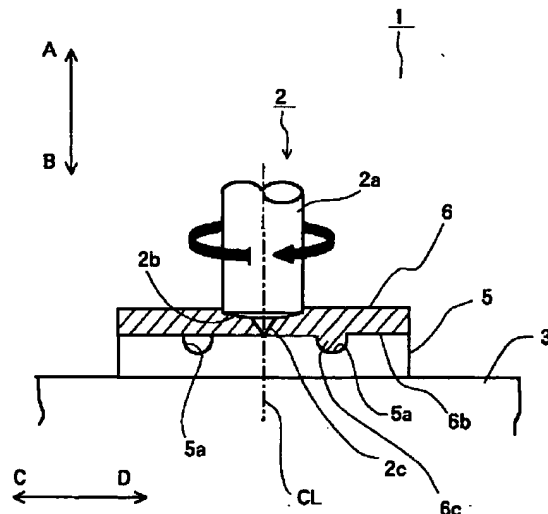
Fターム(参考) 4K044 AA02 AB09 BA10 BC05 CA31

(54) 【発明の名称】 摩擦攪拌成型方法

(57) 【要約】

【課題】材料を溶融させることなく、短時間に熟練を要することなく成型することの出来る、摩擦攪拌成型方法の提供。

【解決手段】第1の物体6と第2の物体5を互いに接触させた状態で、第1の物体に摩擦熱発生攪拌手段2を当接させて第1の物体中に進入させ、第1の物体と摩擦熱発生攪拌手段との間で摩擦熱を発生させて、第1の物体を構成する材料を加熱状態で攪拌することにより非溶融状態で塑性流動を生じさせる。その状態で第2の物体に形成された凹凸状態を塑性流動により転写する。これにより、従来、第1の物体を溶解させて第2の物体上に流し込むか、機械加工による削りだしの方法しか用いることが出来なかったものが、簡単に、金属材料を溶融させることなく、また、短時間に熟練を要することなく成型することが可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の物体と第2の物体を互いに接触させた状態で、前記第1の物体に摩擦熱発生攪拌手段を当接させて、該摩擦熱発生攪拌手段と第1の物体との間で相対移動を生じさせ、

前記摩擦熱発生攪拌手段を前記第1の物体中に進入させ、該第1の物体と摩擦熱発生攪拌手段との間で摩擦熱を発生させて、該第1の物体を構成する材料を加熱状態で攪拌することにより非溶融状態で塑性流動を生じさせ、

その状態で前記第2の物体に形成された凹凸状態を該塑性流動により転写するようにして構成した、摩擦攪拌成型方法。

【請求項2】 第1の物体と第2の物体を互いに接触させた状態で、前記第1の物体に摩擦熱発生攪拌手段を当接させて、該摩擦熱発生攪拌手段と第1の物体との間で相対移動を生じさせ、

前記摩擦熱発生攪拌手段を前記第1の物体中に進入させ、該第1の物体と摩擦熱発生攪拌手段との間で摩擦熱を発生させて、該第1の物体を構成する材料を加熱状態で攪拌することにより非溶融状態で塑性流動を生じさせ、

該塑性流動を利用して前記第1及び第2の物体を機械的に接合するようにして構成した、摩擦攪拌成型方法。

【請求項3】 前記摩擦熱発生攪拌手段は、先端にワーク接触面が形成された回転駆動自在に設けられた回転工具であり、

摩擦熱は、前記ワーク接触面と第1の物体間で生じる、請求項1又は2記載の摩擦攪拌成型方法。

【請求項4】 前記第2の物体の凹凸状態は、該第2の物体に形成された成型型である、請求項1記載の摩擦攪拌成型方法。

【請求項5】 前記第1の物体と前記第2の物体は、それら物体を構成する材料が相違する、請求項2記載の摩擦攪拌成型方法。

【請求項6】 前記第1の物体の材料は、アルミニウムを素材とする材料であり、前記第2の物体の材料は、鉄を素材とする材料である、請求項5記載の摩擦攪拌成型方法。

【請求項7】 前記第2の物体には、凹凸が形成されており、該凹凸に前記第1の物体を構成する材料を流入させて、前記第1及び第2の物体を機械的に接合するようにして構成した、請求項2記載の摩擦攪拌成型方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、二つの物体を擦り合わせて生じる摩擦熱を利用して、金属材料を溶融させることなく成形することの出来る、摩擦攪拌成型方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、任意の凹凸形状を金属に転写するには、当該凹凸形状に対応する金型を形成して鋳造するか、機械加工により削り出すしか方法はなかった。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】鋳造の場合、金属材料を溶融させる必要があることから、大がかりな設備を必要とするばかりか、金属を溶融させることにより、その機械的な性質が変化する欠点があり、また、機械加工は、その加工に多くの時間と熟練を要する不都合があった。

【0004】本発明は、上記した事情に鑑み、材料を溶融させることなく、また、短時間に熟練を要することなく成型することの出来る、摩擦攪拌成型方法を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】請求項1の発明は、第1の物体(6)と第2の物体(5)を互いに接触させた状態で、前記第1の物体に摩擦熱発生攪拌手段(2)を当接させて、該摩擦熱発生攪拌手段と第1の物体との間で相対移動を生じさせ、前記摩擦熱発生攪拌手段を前記第1の物体中に進入させ、該第1の物体と摩擦熱発生攪拌手段との間で摩擦熱を発生させて、該第1の物体を構成する材料を加熱状態で攪拌することにより非溶融状態で塑性流動を生じさせ、その状態で前記第2の物体に形成された凹凸状態を該塑性流動により転写するようにして構成される。

【0005】請求項2の発明は、第1の物体(6)と第2の物体(7)を互いに接触させた状態で、前記第1の物体に摩擦熱発生攪拌手段(2)を当接させて、該摩擦熱発生攪拌手段と第1の物体との間で相対移動を生じさせ、前記摩擦熱発生攪拌手段を前記第1の物体中に進入させ、該第1の物体と摩擦熱発生攪拌手段との間で摩擦熱を発生させて、該第1の物体を構成する材料を加熱状態で攪拌することにより非溶融状態で塑性流動を生じさせ、該塑性流動を利用して前記第1及び第2の物体を機械的に接合するようにして構成される。

【0006】請求項3の発明は、請求項1又は2記載の摩擦攪拌成型方法において、前記摩擦熱発生攪拌手段は、先端にワーク接触面が形成された回転駆動自在に設けられた回転工具(2)であり、摩擦熱は、前記ワーク接触面と第1の物体間で生じるように構成される。

【0007】請求項4の発明は、前記第2の物体の凹凸状態は、該第2の物体に形成された成型型(5a)であるように構成される。

【0008】請求項5の発明は、請求項2記載の摩擦攪拌成型方法において、前記第1の物体と前記第2の物体は、それら物体を構成する材料が相違するように構成される。

【0009】請求項6の発明は、請求項5記載の摩擦攪拌成型方法において、前記第1の物体の材料は、アルミニウムを素材とする材料であり、前記第2の物体の材料

は、鉄を素材とする材料で構成される。

【0010】請求項7の発明は、請求項2記載の摩擦攪拌成型方法において、前記第2の物体には、凹凸(7a)が形成されており、該凹凸に前記第1の物体(6)を構成する材料を流入させて、前記第1及び第2の物体を機械的に接合するようにして構成される。

【発明の効果】請求項1によると、摩擦熱発生攪拌手段により第1の物体(6)を構成する材料を非溶融状態で加熱攪拌することにより塑性流動を生じさせ、第1の物体(6)に第2の物体(5)に形成された凹凸状態を、該塑性流動を利用して転写することが出来る。これにより、従来、第1の物体を溶解させて第2の物体上に流し込むか、機械加工による削りだしの方法しか用いることが出来なかったものが、簡単に、金属材料を溶融させることなく、また、短時間に熟練を要することなく成型することが可能となる。

【0011】請求項2の発明によると、摩擦熱発生攪拌手段により第1の物体(6)を構成する材料を非溶融状態で加熱攪拌することにより塑性流動を生じさせ、第1の物体(6)と第2の物体(5)を機械的に接合することが可能となる。これにより、従来、接合が不可能とされた金属とセラミックスやアルミと鉄などの異種材料間の接合を容易に行うことが出来る。

【0012】請求項3の発明によると、回転工具(2)を用いることにより、一般に普及しているフライス盤やマシニングセンタなどの工作機械を用いて接合作業を行うことが出来、好都合である。

【0013】請求項4の発明によると、成型型(5a)の形状を精密に転写することが出来、マイクロマシンなどの部品製造などに好都合である。

【0014】請求項5の発明によると、異種材料間の機械的接合を簡単に行うことが出来る。

【0015】請求項6の発明によると、アルミニウムと鉄の機械的な接合を簡単に行うことが出来る。

【0016】請求項7の発明によると、凹凸(7a)を利用した形での機械的な接合を簡単に行うことが出来る。

【0017】なお、括弧内の番号等は、図面における対応する要素を示す便宜的なものであり、従って、本記述は図面上の記載に限定拘束されるものではない。

【0018】

【発明の実施の形態】図1は、本発明が適用される成形装置の一例を示す図、図2は、成型中の金型温度の変化を示す図、図3は、V溝金型の深さと充填率との関係を示す図、図4は、金型の表面性状を示す図、図5は、摩擦攪拌成型方法を用いる前後の供試材の表面性状を示す図、図6は、金型の表面性状を示す図、図7は、摩擦攪拌成型方法を用いる前後の別の供試材の表面性状を示す図、図8は、溝付きプレートの寸法を示す図、図9は、引っ張りせん断試験とはく離試験態様を示す模式図、図

10は、引っ張りせん断試験とはく離試験において、最大荷重と溝中央からの距離との関連を示す図、図11は、溝の数と引っ張りせん断試験の最大荷重に及ぼす影響を示す図、図12は、本発明を適用して形成されたクラッド材の一例を示す斜視図である。

【0019】摩擦攪拌成型方法を行う摩擦攪拌成型装置としての工作機械1は、図1に示すように、テーブル3を有しており、テーブル3上には、金型5が図示しないボルトナットなどの固定手段を介して固定されている。金型5の上面には、成型型5aが形成されており、該成型型5aは、当該型5aに沿って後述するワークの材料が塑性流動することにより、ワーク側に当該型5aに沿った形状が転写される。

【0020】金型5上の成型型5aが形成された部分には、成型すべきワーク6が同様に、金型5に対して相対移動しないようにボルトナットなどの適宜な手段で積層固定されており、更に、ワーク6の図中上方には、回転駆動自在な工具2が設けられている。工具2は、図示しない送り機構により、図中上下方向である矢印A、B方向及び該A、B方向に直角な水平方向である矢印C、D方向に、テーブル3に対して相対移動駆動自在に設けられており、工具2は、円筒状の本体2aを有している。

【0021】本体2aの図中下部には、やや下方に凸状に形成されたワーク接触面2bが工具軸心CL方向に対して直角方向に形成されており、ワーク接触面2bの凸状中央部には、プローブ2cが工具軸心CLにその中心を一致させた形で、かつ図中下方に突出する形で形成されている。

【0022】工作機械1などは、以上のような構成を有するので、工作機械1を用いて行った摩擦攪拌成型について、以下に詳述する。

【0023】加工に際しては、工具2を所定の回転数で軸心CLを中心に回転させると共に、図1下方、即ち矢印B方向に移動させ、工具先端のプローブ2cをワーク6の上面に所定の接触圧力で当接させる。ワーク6は、工具2が回転状態で当接することにより、摩擦熱で加熱されて軟化し、プローブ2cがワーク6内に進入する。更に工具2が矢印B方向に押圧されることにより、工具2は、ワーク接触面2bとワーク6の上面が所定の接触圧力で接触し、ワーク6の上面は回転状態にあるワーク接触面2bとの間に生じる摩擦力により更に加熱される。加熱された状態のワーク6は回転状態にある工具2のワーク接触面2b及びプローブ2cにより攪拌され、非溶融状態における塑性流動性状を局部的に呈する。この塑性流動状態は、通常の塑性加工における塑性流動に比して、その流動抵抗が極めて低く、所謂超塑性状態に類似した状態となる。

【0024】この状態で、工具2を回転させつつ矢印C方向に所定の送り速度で送りを掛けることにより、流動抵抗が極めて低下した工具2下方のワーク6を構成する

材料は工具2により攪拌され、金型5に形成された成形型5a内に流入して、ワーク6の下面6bに、成形型5aに対応した突起6cが成形される。この際、ワーク6を構成する材料は、極めて流動性が高くなっているの
で、工具2側から通常の鍛造のように高い圧力を作用させなくても僅かな矢印B方向の力で成形型5a内に流入し、極めて精巧に当該成形型5aを転写することが出来る。

【0025】このように、工具2を回転させつつ矢印C方向に所定の送り速度で送りを掛けることにより、ワーク6は連続的に加熱攪拌され、金型5の各成形型5a内にワーク6を構成する材料が流入し、成形動作が連続的に行われる。

【0026】この、工具2とワーク6との間の摩擦熱による加熱に基づいて、ワーク6ヲ構成する材料に超塑性流動に似た流動を、材料の非溶融状態で生じさせて、成形型5a内に低作用圧力下で流入させることで、これまで生成が困難とされた微細加工への応用が可能となる。発明者は、これを「Friction Stir Forming (以下FSFと略)」として提案するものである。

【0027】すなわち工作機械1を利用して試作したFSF装置により各種アルミニウム合金の微細成形性におよぼす材質、金型形状および加工条件等の影響を実験的に調べた。

【0028】試作したFSF装置を図1に示す。装置本体は立型フライス盤を用い、金型5、供試材(ワーク6)およびこれらを固定する治具から構成されている。金型用材料にはSUS304を使用し、表面に鏡面、機械加工面、半球溝、V型溝、ビッカースおよびマイクロビッカース圧痕を加工した。また、FSF時における温度を推測するため、金型表面から1.0mm下の位置に直径0.2mmのK熱電対を埋め込んだ。ツール形状は、「名倉 良・井上 祐史・西原 公、平12春塑加講論 (2000)、457-458ページ」に示されたTYPE C (ショルダー面に45°、ショルダー径20mm、材質SKD61を調質)のツールを使用した。供試材(ワーク6)は60×260×3mmのA6061P-T6、A2017P-T3、A2024P-T3およびA7075P-T651アルミニウム合金板を用いた。

<実験結果および考察>

<FSF時の温度変化>FSF時における温度を推測するために、切り込み深さ0.5mmのV溝直下に、ツール中央部をはじめ4mm毎に2点、反対側に8mm空けて1点、計4点の温度を熱電対により測定した。図2に成形開始点より前方60mmにおける点の温度変化を示す。供試材(ワーク6)はA6061Pであり、回転数1320rpm、送り速度50mm/minとした。プローブ直下で約700Kの最高温度が認められる。また、ショルダー部外周に向かって約600Kに低下していることがわかる。

【0029】<V溝型への充填性の評価>45°のV溝型を用いてFSFによる鍛造を行なった結果を図3に示す。回

転数は、A6061Pの場合1320rpm、高力アルミニウム合金は530rpmとした。また送り速度は50mm/minとした。充填率の測定法は早乙女ら(早乙女 康典・秦 誠一・坂口 幸二、塑性と加工、41-468(2000)、49-53.)と同様な方法を用いた。充填率は型の深さが大きくなると減少する傾向にあり、A6061Pが最も高く、A2017P、A2024P、A7075Pの順に低下していることがわかる。

【0030】<転写特性の評価>前項より、流動特性の良いA6061Pを用いて転写特性の評価を試みた。まず、正面フライスを用いて金型用材料に回転数170rpm、送り速度100mm/minで機械加工した面を金型とした。その断面曲線を図4に示す。

【0031】この金型を用い回転数1320rpm、送り速度50mm/minにてFSFを行なった。供試材(ワーク6)の実験前の断面曲線を図5(a)に、実験後のプローブ直下の断面曲線を図5(b)に示す。型と実験後の供試材の断面曲線を比較すると、金型形状が良好に転写されており、またRaおよびRz共に近い値を示していることがわかる。

20 【0032】鏡面研磨した金型5の断面曲線を図6に示す。この金型を用い同様にFSFを行なった。供試材(ワーク6)は、横フライスにより機械加工したものを用い、その断面曲線を図7(a)に示す。実験後のプローブ直下の断面曲線を図7(b)に示す。鏡面は転写されていないが、かなり表面粗さが小さくなっていることがわかる。現在さらに研究中であるが、ツール形状および加工条件等を改良することにより鏡面転写の可能性が十分に存在することが考えられる。

30 【0033】<密閉型鍛造の試み>A6061Pを用いてビッカース圧痕を型とした鍛造を試みた結果、圧痕の対角線がはききしており、ほぼ型どおりの鍛造が行われたことが確認された。更に小さな金型によるマイクロ鍛造も可能と考えられる。

【0034】次に、本発明においては、炭素鋼板にアルミニウム合金をFSFにより機械的に接合することを試み、接合継手の接合強度を実験的に検討した。

【0035】<実験方法>図8及び図12に示すように、溝7aを設けた第2のワーク7に圧入する第1のワーク6を重ね、図12矢印C方向にFSFすることにより機械的接合が行われる。ツールは(名倉 良・井上 祐史・西原 公、平12 春塑加講論、(2000)、457-458.)のTYPE Cを用いた。ワーク6、7は3mm厚のA6061P-T6材(ワーク6)と8mm角のS45C材(ワーク7)とし、S45Cには図8及び図12に示すような溝7aを機械加工した。本実験において、図8におけるdは1.2mm、hは0.2~0.4mmとし、溝の数は1~5とした。

【0036】また工具回転数は1335rpm、接合(送り)速度は50mm/minとした。さらに、接合された継手の強度を評価するために図9に示すような方法により、引張せん断試験およびはく離試験を行った。引張せん断試験の

場合は、S45C（ワーク7）側にA6061P板（ワーク6）と厚さの同じ鋼板を取り付け試験を行った。

<実験結果および考察>

<FSF によるクラッド材の一例>FSFによる機械的接合の一例として、A6061P/S45Cクラッド材を図12に示す。S45C（ワーク7）側の溝7aにアルミニウム合金（ワーク6）が塑性流動により流れ込み、機械的に接合されている。この結果よりアンカー効果による良好な継手性能が期待される。この場合のクラッド率は約11%である。

【0037】<継手の強度評価>溝の数が1の場合のはく離試験および引張せん断試験の結果を図10に示す。hが0.2mmの場合、最大荷重が低下しているが、この場合はアルミニウム合金の一部が溝から抜けることが確認された。hが大きくなると最大荷重が大きくなる傾向にあるが、さらに大きくなるとせん断を受けるアルミニウム合金側の面積が小さくなり、強度が低下することが予測される。

【0038】そこで本実験では、h=0.3mm一定とし、溝の数を変えて接合し、継手を製作した。この場合の引張せん断試験の結果を図11に示す。溝の数が多くなるにつれて最大荷重も増加する傾向にあることがわかる。溝の数が多いと母材より破断する場合があることが認められた。

【0039】なお、上述の実施例は、摩擦熱を第1の物体であるワーク6に生じさせて攪拌する摩擦熱発生攪拌手段として、回転工具2を用いたが、摩擦熱発生攪拌手段としては、回転工具に限らず、第1の物体との間で摩擦熱を発生させ、その熱により流動抵抗が低下したワークの構成材料を攪拌することが出来る限り、往復運動や、回転体の外周部をワークに押し当てるなどの一方向運動を利用したものなど、各種の様態が考えられる。

【0040】また、第1の物体に転写する、第2の物体

に形成された凹凸状態は、図1に示すような成形型5aに限らず、第1の物体に転写したい、第2の物体表面に形成された凹凸状態で有ればどのようなものでもよく、例えば、鏡面なども含まれるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明が適用される成形装置の一例を示す図。

【図2】図2は、成型中の金型温度の変化を示す図。

【図3】図3は、V溝金型の深さと充填率との関係を示す図。

【図4】図4は、金型の表面性状を示す図。

【図5】図5は、摩擦攪拌成型方法を用いる前後の供試材の表面性状を示す図。

【図6】図6は、金型の表面性状を示す図。

【図7】図7は、摩擦攪拌成型方法を用いる前後の別の供試材の表面性状を示す図。

【図8】図8は、溝付きプレート寸法の寸法を示す図。

【図9】図9は、引っ張りせん断試験とはく離試験態様を示す模式図。

【図10】図10は、引っ張りせん断試験とはく離試験において、最大荷重と溝中央からの距離との関連を示す図。

【図11】図11は、溝の数と引っ張りせん断試験の最大荷重に及ぼす影響を示す図である。

【図12】図12は、本発明を適用して形成されたクラッド材の一例を示す斜視図である。

【符号の説明】

2……摩擦熱発生攪拌手段（工具）

5……第2の物体（金型）

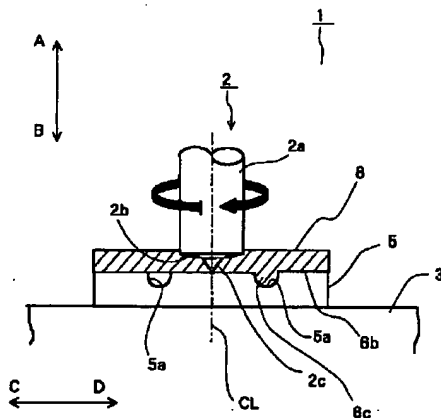
5a……成形型

6……第1の物体（ワーク）

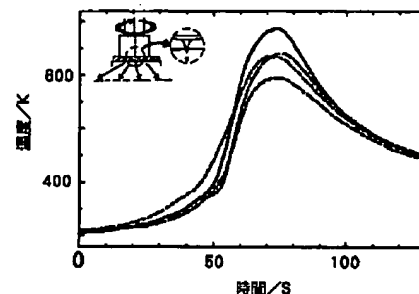
7……第2の物体（ワーク）

7a……凹凸（溝）

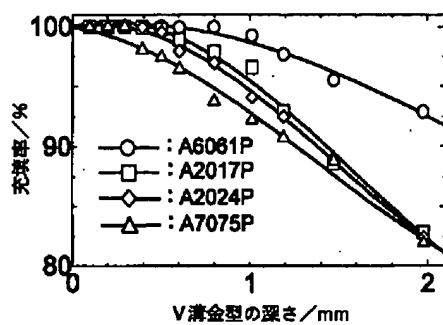
【図1】



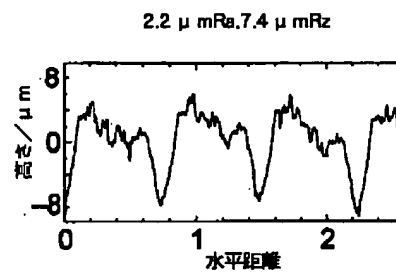
【図2】



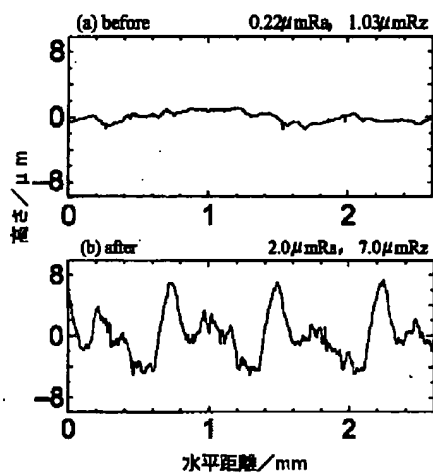
【図3】



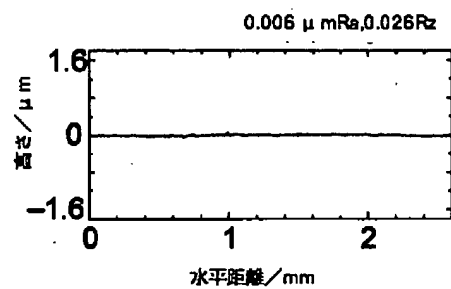
【図4】



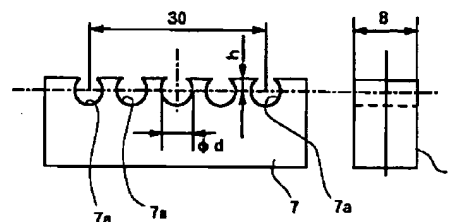
【図5】



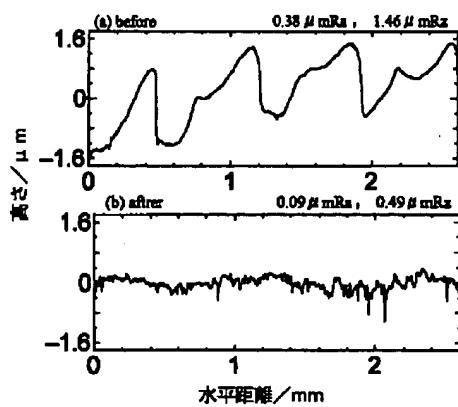
【図6】



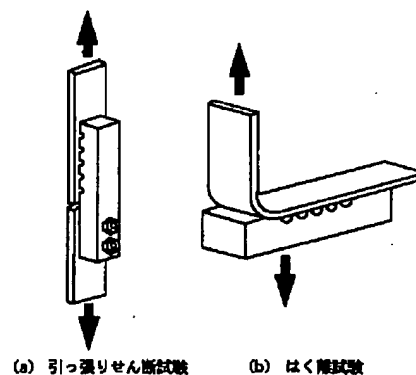
【図8】



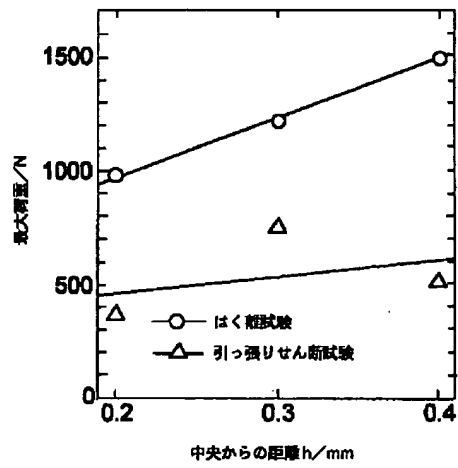
【図7】



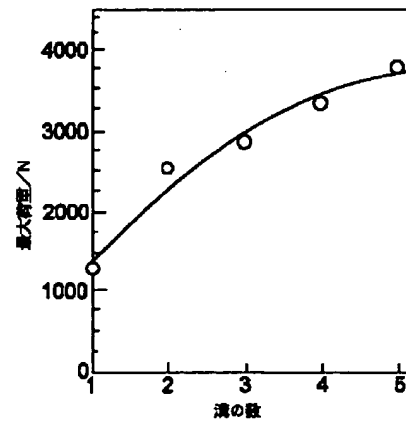
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

